水稻精準農業體系
肥料深施及穗肥對水稻產量之效應及診斷研究
105-120, 2003

肥料深施及穗肥對水稻產量之效應及診斷研究

王鐘和*、林毓雯、丘麗蓉、陳琦玲、劉滄棽
行政院農業委員會農業試驗所農業化學組
E-mail: chwang@wufeng.tari.gov.tw

摘要 ---------- 106

一、前言 ---------- 106

二、方法簡述 ---------- 108

三、結果與討論 ---------- 109

四、結語 ---------- 117

五、誌謝 ---------- 117

六、引用文獻 ---------- 117

ABSTRACT ---------- 120

肥料深施及穗肥對水稻產量之效應及診斷研究

王鐘和[*]、林毓雯、丘麗蓉、陳琦玲、劉滄棽
行政院農業委員會農業試驗所農業化學組
E-mail: chwang@wufeng.tari.gov.tw

摘要

本研究探討肥料深施及穗(氮)肥施用對水稻生育的影響及穗(氮)肥施用必需性判定之基準。結果如次：深施區水稻之乾物產量、谷(穀)粒產量、全株氮素吸收量及谷粒氮素量均較傳統撒施區高。幼穗形成期增施穗(氮)肥 35 公斤/公頃明顯增加水稻生育中、後期之氮素吸收量、乾物產量、氮素收穫指數及收穫指數，故明顯提高谷粒產量。惟因深施區水稻氮素吸收效率較高，在較高氮肥用量區增加穗(氮)肥對全乾物產量及谷粒產量反而有不利影響。施穗(氮)肥可以提高氮肥之吸收率。水稻幼穗形成期全株氮含量達 1.86~1.95 % 時，施穗(氮)肥無增產效果，此與前人之結果相近。幼穗形成期葉片葉綠素計測值與全株氮含量呈極顯著正相關，可供此時期現場診斷植株氮營養推薦穗(氮)肥用量之依據。

關鍵詞：水稻、肥料深施、穗肥。

一、前言

氮素為作物生長之必須要素，亦為構成植物體中蛋白質與葉綠素之重要成分之一，與植體內之各項生理生化活動有密切之關係，尤其在光合作用及乾物質生產方面更受氮素營養之密切影響。

水稻栽培除了二氧化碳、氧氣、水及必需適時適量供應營養要素外，尚需足夠之矽，稻株才能正常生長，獲得理想之產量與品質(連，1996；連及王，1983)。水稻對三要素(氮、磷、鉀)之反應中，以對氮素的反應最為敏感，氮素稍缺乏則發育不良，產量不高。惟如果施用過量或施用時期不當，亦易導致過度分蘗、孳生病蟲害或引起倒伏等負面效果而致減產。水稻自播種至收穫之任何階段均可吸收氮素，但就各階段所吸收氮素對稻穀生產之效率言，則以分蘗盛期及幼穗形成期為最大。分蘗盛期及幼穗形成期氮素養分充足與否，影響穗數、稔實率及千粒重，因此欲獲高產，必需在這兩個時期充分供應氮素肥。氮肥施於稻田表面後，極易因脫氮作用而揮散損失，且亦有一部分流失，其損失量因土壤性質而異。因此，氮肥需分次施用，其中基肥需混入土中 0-12 公分才能減少損失，而漏水過速之水田則不施用基肥。分蘗盛期之追肥應視分蘗狀況，穗肥則依葉色，調節施用。磷肥以一次作基肥施用為原則，鉀肥則著重追肥分施，避免過早施用而流失(連，1982；王，2002)。連等(1977)指出除了漏水嚴重之粗質地仍採用肥料分施法之外，對於中或細質地土壤，則可採用以需肥

量之 75%當基肥，且以耕耘機犁入土壤中，另 25%當穗肥的施肥法;既省工又可減少氮肥損失。

三要素中以氮肥對作物之增產效果最大，但過量之施用或施用不當所可能帶來之負效果亦最大，合宜的氮肥施用具有調節作物營養生長和生殖生長以達到最適收穫指數(HI，harvest index)之意義。早期一般農家慣於插秧後不久及稻作最高分蘗期施用追肥而不施基肥。民國 54~63 年(1965~1974)間各農業試驗改良場所在全省舉辦水稻氮肥分施試驗，結果証實，幼穗形成期之追肥(穗肥)可提高稻穀產量，並以基肥與分蘗盛期和幼穗形成期追肥之組合較佳(Su，1975)。本省過去已累積相關之試驗結果並釐訂有稻田之氮肥、磷肥及鉀肥之推薦用量，使水稻之施肥推薦邁向科學化(連，1996；Su，1975)。近年來在複作制度下，由於不同作物之施肥情況截然不同，前作施肥所殘留肥分和作物殘體對次作物之養分吸收將有莫大影響(Hayami，I975)。施用不同有機質肥料配合化學肥料對水稻生長及氮素之吸收與分佈之影響亦受關注(鍾等，1999)。

若能將 75%的需肥量於插秧時或插秧後不久，以施肥機點施於稻株間約 7~10 公分深處，則肥效更加顯著;高雄區農業改良場即研製「高改式水稻深層施肥機」於插秧後 7~10 天以人工操作將氮肥用量之 75%行深層點施，另 25%當穗肥，結果較標準分施方法可節省 15~30%氮肥而仍可維持相同的高產量(鄒及林，1980a)。此種結果曾於 61~64 年(1972~1975)間在全省各地示範而獲得良好結果(鄒及林，1980b)。超大顆粒尿素(USG)深施提高氮素回收率及稻谷產量之效果，以一期稻優於二期稻，一期稻谷產量可達 13%，氮回收率最高可達 77%；二期稻谷產量最高只有 3%(屏東新埤)，而氮回收率最高亦只有 41%(莊，1993)

不同生育階段之水稻除自土壤吸收由有機物礦化釋放之氮素外，需由施肥供應吸收，達到各時期之最適氮素含有量，此種理論亦可適用於小麥(深山，l990)。水稻產量構成要素爲每株穗數、稔實穗粒數及千粒重，單位面積稔實穗粒數與抽穗期間氮素的吸收有顯著相關性(Genshichi and Cruz，1990)。水稻植體中氮素之累積與分佈過程對穀粒產量具有決定性之影響(Norman *et al*.,1992)。爲使水稻能夠產生足夠之穗數與粒數，可於初期將尿素包於泥土或衛生紙之中等候深施，並於幼穗形成期配合施撒一次穗肥。此外必須發展出較爲簡便之深施技術，上述之深施方法之原理才能實際的被利用(謝及黃，1976)

葉片是水稻植株中氮素之主要積儲器官(sink)(戴，1990)，含氮量佔全株之 39-48%，爲含氮量最高之組織(Dingkuhn *et al*.,1992)。在分蘗盛期之後，氮素含量逐漸降低(Tripathy and Upadhyay,1989)。通常營養器官氮素之轉移發生在抽穗左右，二期作較早，一期作較遲(戴，1990)。葉片、莖桿、葉鞘三者減少之總和與穗部獲得之再轉移性氮素之總量大約相等(Mae and Ohira, 1981)。許多研究顯示，增加葉部氮素含量，光合作用率也隨之增加(Yoshida and Coronel,1976)。高產品種的水稻，葉部含氮量較高(Dingkuhn *et al*., 1992b)，葉綠素含量也較高(Chau and Deshmukh, 1991)。應用攜帶型葉綠素計測定葉片之測值與葉片之葉綠素含量、氮素含量、全株氮素含量均呈顯著正相關(王及王，1996；王等，2002)。

水稻屬 C3 型作物，氮素利用效率較 C4 型作物玉米低(Ku *et al*., 1979)。Yoshida(1981)指出氮肥對子實生產之效率 FE(efficiency of fertilizer-N = kg yield/kg N applied)等於施用氮肥之吸收效率 abs. % (efficiency of absorption = kg N absorbed / kg N applied)乘以

被吸收氮素產生子實之效率 NE (absorbed-N to produce yield = kg yield/kg N absorbed)。Tanaka *et al.*(1984)亦指出產量等於植體吸收氮素總量(N/plant)乘以吸收氮素之谷生產效率 NE(efficiency of N accumulation in plants to produce yield)。

鑑於未來科學化精準肥培管理之需要，本研究調查及分析不同肥料施用方式(傳統撒施及深施)及穗(氮)肥施用與否之處理下，水稻各生育期之葉片葉綠素計測值、葉面積指數、植體各器官乾物及氮素含量，收穫期之植體各器官乾物及氮素分布情形、以及穗數、千粒重及穗粒數等收量構成因子，並比較不同處理之氮素效率，探討肥料深施及穗肥對水稻產量之效應，以及穗肥施用之診斷技術。

二、方法簡述

(一)供試地點：農試所農場之試驗田區之 38、39、42 及 43 號田(表土土壤性質如表 1)。

(二)供試作物：水稻(*Oryza sativa* L.)台農 67 號。

(三)肥培管理處理：

1.氮肥等級：氮肥用量(不含穗(氮)肥量)分爲 0、45、90 及 135 公斤/公頃四級，各氮肥等級區一半之試區於幼穗形成期追(撒)施穗(氮)肥 35 公斤/公頃。

2.施肥方式：分(1)傳統撒施(38 及 42 號田區)及(2)深施(39 及 43 號田區)兩種。(傳統撒施區之氮肥以硫酸銨施用，深施區則以台肥復合肥料 5 號施用)。

3.磷鉀肥施用量：分別爲磷酐(P_2O_5)70 公斤/公頃及氧化鉀(K_2O)70 公斤/公頃。以過磷酸鈣及氯化鉀肥料施用。

4.施用時期：(1)傳統撒施區分三次(依作物施肥手冊推薦之比例：基肥、第一次追肥(分蘗始期)及第二追肥(分蘗盛期)之用量比例爲 5/15：4/15：6/15)施用(表 2 及表 3)。

Table 1. Soil properties and fertility status of the surface soils in the experimental fields(2002).

Field No.	pH	OM	CEC	Ca	Mg	K	Na	P	K	Zn
		%	$cmol(+)kg^{-1}$ soils	NH$_4$OAC extractable ($cmol(+)kg^{-1}$ soils)				Mehlich's 3 extractable (ppm)		
38	5.31	2.13	7.8	4.56	1.35	0.11	0.1	16.5	33.8	3.97
39	4.32	2.22	7.53	4.21	1.28	0.2	0.17	31	74.3	5.29
42	4.95	2.21	7.82	3.76	1.11	0.1	0.08	19.2	36.1	4.76
43	5.01	2.18	8.13	3.94	1.31	0.16	0.08	21.4	42.9	4.52

Table 2. Fertilization methods for the experiment conducted in the first cropping season of 2003. (surface application).

Treatment	Before transplanting kg/ha	Initial tillering stage kg/ha	Active tillering stage kg/ha	Panicle initiation stage kg/ha
N0	0	0	0	0
N0＋35	0	0	0	35
N45	15	12	18	0
N45＋35	15	12	18	35
N90	30	24	36	0
N90＋35	30	24	36	35
N135	45	36	54	0
N135＋35	45	36	54	35
P_2O_5	70	0	0	0
K_2O	17.5	17.5	21	14.0

Table 3. Fertilization methods for the experiment conducted in the first cropping season of 2003. (deep application).

Treatment	Before transplanting kg/ha	Initial tillering stage Kg/ha	Active tillering stage kg/ha	Panicle initiation stage kg/ha
N0	0	0	0	0
N0+35	0	0	0	35
N40	40	0	0	0
N40+35	40	0	0	35
N77	77	0	0	0
N77+35	77	0	0	35
N112	112	0	0	0
N112+35	112	0	0	35
$P_2 0_5$	70	0	0	0
$K_2 0$	70	0	0	0

(2)深施區於水稻插秧時以深層施肥插秧機同步一次深施，深度約 3~5 公分。

5.試驗設計：撒施區及深施區各八處理，二重複，小區面積 25×25m。

(四)調查及分析項目:

1.調查分蘗盛期、幼穗形成期、抽穗期之葉面積指數、葉綠素計值、植體各器官乾物重及氮素分布情形。

2.收穫期之植體各器官乾物重及氮素分布情形、每叢株數、每叢穗數、千粒重、穗粒數及其他農藝性狀。

3.計算項目：

(1) 氮肥吸收效率 F-N abs. % (fertilizer-N absorption efficiency) = kg N absorbed / kg N applied

(2) 氮素生產效率 NE(absorbed –N to produce yield = kg yield/kg N absorbed)

三、結果與討論

對乾物質累積與分配之影響

作物產量的基礎是以乾物質生產和分配爲主，提高作物的產量也就是如何提高作物乾物質的生產和分配(Wallace and Zobel，1982)。氮素肥料對水稻之重要性無庸置疑，適當合宜的施用氮肥對稻谷有明顯的增產效果，但不當過量的施用也會造成反效果(連，1982；王等，2002)。圖 1 爲氮素用量與稻谷產量之相關圖，顯示隨著氮素用量增加，稻谷之產量增加，相同氮素用量下深施區之產量高於撒施區。而在幼穗形成期增施 35 公斤/公頃氮肥之效應，則顯示在較低氮肥用量處理明顯有增產效果，氮素用量提高時增產的效果減少，在深施區之較高氮素用量處理區(N 112 公斤/公頃)甚至導致產量下降，此情形可能與氮素供應過量有關。石塚及金雄(1967)亦指出玉米生育過程中雌穗抽絲期以後的子實成熟期間，稈葉的乾物重仍有增加，即仍有營養生長進行，故過多的氮素營養對子實的充實不利。

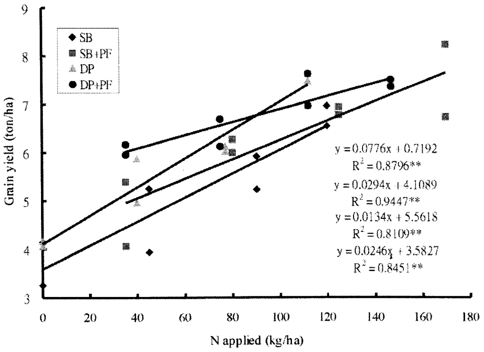

Fig.1.Relationship between nitrogen applied rate and grain yield of rice grown in the first cropping season of 2003.(SB：surface broadcast；SB+PE：surface broadcast + panicle fertilizer；DP：deep placement；DP+PF：deep placement + panicle fertilizer)

表 4 中顯示傳統撒施區幼穗形成期增施穗(氮)肥，在各級氮肥處理區除了最高氮肥用量區(N 135 公斤/公頃)，因而導致全乾物量略下降外，其餘對水稻植株之全乾物量及稻谷產量均有明顯增加之效果。表中也顯示增施穗肥顯著提高收穫指數(HI)，亦即施穗肥可明顯提高乾物質分配至稻谷的比率。氮肥深施區增施穗肥也是在最高氮肥用量區(112 公斤/公頃)，導致全乾物量及稻谷產量略爲下降，而收穫指數未改變，其餘氮肥用量處理區則均顯著提高植株全乾物量、稻谷產量及收穫指數(表 5)。此結果與前人報告施穗(氮)肥可提高稻谷產量之結果符合(鄭，1975；鄭，1982；連，1972；謝及黃，1976)。

Table 4. Effects of different fertilizations on total dry matter, grain yield and harvest index of rice grown in the first cropping season of 2003. (surface application)

Treatment	Total dry matter ton/ha	Grain yield ton/ha	HI
N0	6.88(1.25)*	3.70(0.51)	0.49(0.01)
N0+35	8.82(0.51)	4.73(0.77)	0.50(0.02)
N45	8.36(1.04)	4.60(0.67)	0.47(0.01)
N45+35	9.79(0.12)	6.14(0.36)	0.52(0.00)
N90	9.79(0.89)	5.56(0.42)	0.49(0.01)
N90+35	11.36(0.01)	6.86(0.13)	0.53(0.00)
N135	12.52(0.03)	6.74(0.27)	0.47(0.02)
N135+35	12.04(1.49)	7.48(0.83)	0.54(0.01)

*Means of 2 replications with(SD)

Table 5. Effects of different fertilizations on total dry matter, grain yield and harvest index of rice grown in the first cropping season of 2003. (deep application).

Treatment	Total dry matter ton/ha	Grain yield ton/ha	HI
N0	7.80(0.41)*	4.12(0.21)	0.48(0.01)
N0+35	10.57(0.99)	6.06(0.58)	0.52(0.00)
N40	9.71(0.09)	5.41(0.50)	0.49(0.01)
N40+35	10.63(0.78)	6.40(0.36)	0.53(0.00)
N77	10.97(0.00)	6.08(0.36)	0.47(0.02)
N77+35	12.49(1.55)	7.29(0.44)	0.50(0.03)
N112	14.75(1.19)	7.55(0.53)	0.47(0.02)
N112+35	13.17(0.03)	7.42(0.50)	0.47(0.01)

*Means of 2 replications with(SD)

表 6 及表 7 各生育階段乾物累積量之比較顯示在分蘗盛期不同氮肥用量區水稻之全乾物量差異不大，分蘗盛期至幼穗形成期之期間乾物之累積量則明顯隨著氮肥用量增加而增加。此結果乃水稻在分蘗盛期前植株之生長量及根系量均較小，對氮素的需求也較小，故對各氮肥等級處理之反應較小。過了分蘗盛期植株快速分蘗對養分的需求明顯提昇，較高氮肥區植株的生長明顯被促進，故乾物明顯增加。另外，兩表中均顯示施穗肥顯著提高幼穗形成期至抽穗期之乾物累積量，對抽穗期至收穫期間之乾物增加也有提高的效果。比較表中不含 N 0 公斤/公頃區之資料，顯示幼穗形成期之前氮肥撒施區與深施區水稻全乾物量相近(撒施區 3.01~4.18 公噸/公頃，深施區 2.95~4.19 公噸/公頃)，而幼穗形成期至收穫期之期間，深

施區乾物增加量明顯較撒施區高(撒施區7.18~8.20公噸/公頃，深施區8.48~13.31公噸/公頃)。顯示深施區水稻生育中期以後植株有較佳的乾物生產之能力。王(1993)指出播植行深犁肥料深施可促進玉米吐絲期以後之氮磷鉀要素吸收量及乾物生產，提高子實產量。Calvert and Pesek(1964)指出肥料深施可促使玉米生育期吸收較多之營養元素。Gass *et al.*(1971)及Chabalier and Pichot(1979)則表示玉米生育後期所吸收之氮素直接運移於子實而不浪費於營養生長。

Table 6. Effects of different fertilizations on total dry matter in different growth durations for rice grown in the first cropping season of 2003. (surface application).

Treatment	Transplanting ~ Active tillering stage ton/ha	Active tillering ~ Panicle initiation stage ton/ha	Panicle initiation ~ Heading stage ton/ha	Heading ~ Maturity ton/ha
N0	0.23(0.04)[x]	1.60(0.32)[x]	3.36(0.50)[y]	3.17(0.28)[y]
N0+35			3.83(0.40)	3.69(0.25)
N45	0.33(0.03)	2.68(0.38)	2.92(0.44)	4.26(0.50)
N45+35			3.25(0.02)	4.95(0.08)
N90	0.39(0.05)	2.70(0.42)	3.38(0.44)	5.29(0.17)
N90+35			4.50(0.16)	5.70(0.39)
N135	0.46(0.06)	3.72(0.50)	3.50(0.89)	5.52(1.21)
N135+35			4.49(1.43)	4.62(0.83)

[x]Means of 4 replications with(SD)
[y]Means of 2 replications with(SD)

Table 7. Effect of different fertilization on total dry matter in different growth durations for rice grow n in the first cropping season of 2003. (deep application).

Treatment	Transplanting ~ Active tillering stage ton/ha	Active tillering ~ Panicle initiation stage ton/ha	Panicle initiation ~ Heading stage ton/ha	Heading ~ Maturity ton/ha
N0	0.26(0.05)[x]	1.91(0.17)[x]	3.19(0.31)[y]	3.52(1.66)[y]
N0+35			3.45(0.24)	4.75(0.71)
N40	0.26(0.05)	2.69(0.61)	4.40(0.55)	6.36(0.47)
N40+35			5.50(1.68)	5.30(1.57)
N77	0.33(0.08)	3.30(0.68)	4.62(0.73)	3.86(1.51)
N77+35			6.25(0.55)	3.95(0.81)
N112	0.38(0.03)	3.81(0.28)	6.42(0.46)	4.51(1.32)
N112+35			6.68(0.06)	6.63(0.09)

[x]Means of 4 replications with(SD)
[y]Means of 2 replications with(SD)

表8及表9顯示隨著氮肥用量增加，植株之株高、每叢分櫱數及每叢穗數增加，氮肥深施區水稻之株高明顯高於撒施區，增施穗肥對每叢株數及穗數無明顯影響。增施穗肥對撒施區及深施區水稻之每穗粒數均有增加之效果，對撒施區之千粒重也有提高之效果，深施區則無。謝及黃(1976)亦指出爲使水稻能產生足夠之穗數與粒重，可採行肥料深施並於幼穗形成期施穗肥。

Table 8. Effects of different fertilizations on plant height, tiller number, panicle number, grain number per panicle and 1000-grain weight of rice grown in the first cropping season of 2003. (surface application).

Treatment	Plant height (cm)	Tiller no. per hill	Panicle no. per hill	Grain no. per panicle	1000-grain weight (g)
N0	92.8(0.2)*	12.7(1.3)	12.7(1.3)	85.3(13.4)	24.5(0.3)
N0+35	95.2(1.5)	13.7(1.0)	13.7(1.0)	88.1(3.1)	25.0(1.4)
N45	94.2(2.8)	16.0(0.7)	16.2(0.5)	78.6(0.4)	24.8(1.0)
N45+35	96.3(1.7)	15.8(0.5)	15.7(0.3)	89.9(4.6)	25.6(1.2)
N90	99.0(0.7)	19.5(0.2)	19.5(0.5)	77.6(4.3)	24.6(0.5)
N90+35	102.3(3.0)	18.0(0.3)	17.5(0.8)	95.7(0.5)	26.0(0.9)
N135	101.5(3.2)	20.3(3.0)	20.0(2.7)	81.1(1.1)	24.0(1.0)
N135+35	98.0(0.7)	20.0(0.0)	19.8(0.2)	96.8(1.7)	24.5(0.5)

*Means of 2 replications with(SD)

Table 9. Effects of different fertilizations on plant height, tiller number, panicle number, grain number per panicle and 1000-grain weight of rice grown in the first cropping season of 2003. (deep application).

Treatment	Plant height (cm)	Tiller no. per hill	Panicle no. per hill	Grain no. per panicle	1000-grain weight (g)
N0	89.2(3.5)*	12.5(1.5)	12.2(1.8)	78.2(3.8)	25.3(0.7)
N0+35	98.8(3.2)	12.5(0.5)	12.2(0.2)	111.3(14.0)	23.6(1.3)
N40	99.7(1.0)	17.7(0.9)	17.4(0.6)	89.4(3.2)	24.7(0.8)
N40+35	102.0(3.7)	17.5(1.8)	17.3(2.7)	107.2(20.2)	23.7(0.9)
N77	104.0(7.7)	15.8(0.5)	15.5(0.8)	91.8(8.7)	23.2(0.4)
N77+35	108.2(2.5)	16.7(0.3)	16.5(0.5)	102.7(1.2)	23.5(1.7)
N112	111.0(1.3)	19.2(0.5)	19.0(0.3)	101.6(2.9)	21.4(1.8)
N112+35	118.8(1.2)	20.5(0.8)	19.5(1.2)	111.2(7.7)	21.8(0.3)

*Means of 2 replications with(SD)

對氮素吸收及分配之影響

表 10 及表 11 顯示隨著氮素用量增加，植株氮素吸收量增加，增施穗肥區不但明顯增加水稻氮素吸收量，也明顯提高氮素分配至谷粒之比率；即提高氮素收穫指數(NHI)，當然就提高了谷粒氮素量。洪及劉(1979)指出水稻幼穗形成期施用氮肥的利用率最高，可達 60~69 %，對谷粒的增產效果較其他時期大。莊(1993)之研究顯示，大顆粒尿素深施可明顯提昇氮素肥料的回收率減少流失。王(1993)之報告亦指出於玉米雄穗抽出期增施穗(氮)肥，對氮素吸收量及氮素收穫指數均有明顯的提昇效果。

Table 10. Effects of different fertilizations on total nitrogen absorbed, grain nitrogen and nitrogen harvest index of rice grown in the first cropping season of 2003. (surface application).

Treatment	Total nitrogen absorbed kg/ha	Grain nitrogen Kg/ha	NHI
N0	71.1(1.7)*	43.1(1.8)	0.61(0.01)
N0+35	81.3(0.6)	52.5(2.8)	0.65(0.03)
N45	89.2(6.9)	53.3(3.0)	0.60(0.01)
N45+35	103.4(0.9)	67.9(4.8)	0.66(0.04)
N90	105.6(2.8)	65.8(2.5)	0.62(0.01)
N90+35	119.5(5.7)	79.6(4.6)	0.67(0.01)
N135	112.9(8.0)	67.5(7.5)	0.60(0.02)
N135+35	130.9(3.8)	87.8(3.0)	0.67(0.0)

*Means of 2 replications with(SD)

Table 11.Effects of different fertilizations on total nitrogen absorbed, grain nitrogen and nitrogen harvest index of rice grown in the first cropping season of 2003. (deep application).

Treatment	Total nitrogen absorbed kg/ha	Grain nitrogen Kg/ha	NHI
N0	73.1(19.2)[x]	50.4(6.5)	0.72(0.10)
N0+35	92.7(21.2)	64.0(5.6)	0.71(0.1)
N40	102.8(18.6)	69.5(3.7)	0.69(0.09)
N40+35	132.3(20.5)	98.1(4.0)	0.75(0.09)
N77	103.2(30.0)	69.9(14.4)	0.70(0.06)
N77+35	129.9(19.3)	90.2(1.5)	0.71(0.12)
N112	120.3(23.7)	79.0(8.2)	0.67(0.06)
N112+35	169.7(27.0)	111.6(2.7)	0.67(0.09)

[x]Means of 2 replications with(SD)

表 12 及表 13 進一步顯示，雖然在分蘗盛期時撒施區及深施區水稻之氮素吸收量相近，但是在分蘗盛期至幼穗形成期之期間，深施區水稻之氮素吸收量則均顯著高於撒施區，甚至有高達 2 倍者。顯示深施區此期間土壤氮素供應應十分充足，加上水稻根系於此時已生長有相當規模，故能吸收較多量的氮素。另外增施穗肥明顯增加幼穗形成期至抽穗期之期間水稻的氮素吸收量，施穗肥對抽穗期至收穫期間之氮素吸收則無明顯影響。由上述資料顯示，深施區氮素的流失率應較傳統撒施區明顯較少，所以其施用量雖較少，但卻能使水稻由分蘗盛期至抽穗期的生長期間，均能吸收較多量的氮素肥料，而前人報告也指出氮素肥料深施的流失量較少，回收率較高(莊，1993；謝及黃，1976；鄭等，1982；王，1983)。

Table 12. Effects of different fertilizations on nitrogen absorbed in different growth durations for rice grown in the first cropping season of 2003.(surface application).

Treatment	Transplanting ~ Active tillering stage kg/ha	Active tillering ~ Panicle initiation stage kg/ha	Panicle initiation ~ Heading stage kg/ha	Heading ~ Maturity kg/ha
N0	6.8(1.2)[x]	15.1(1.6)[x]	11.7(0.7)[y]	36.4(0.9)[y]
N0+35			31.3(1.7)	29.2(1.5)
N45	10.7(1.0)	21.3(3.1)	4.6(2.6)	48.7(5.9)
N45+35			17.3(2.4)	57.9(4.7)
N90	14.4(1.7)	22.8(4.7)	2.6(2.1)	59.7(6.4)
N90+35			27.2(4.6)	51.1(1.4)
N135	17.6(3.9)	35.7(4.6)	1.7(4.9)	59.7(6.9)
N135+35			34.0(14.7)	41.8(17.4)

[x]Means of 4 replications with(SD) [y]Means of 2 replications with(SD)

Table 13. Effect of different fertilization on nitrogen absorbed of rice in different growth duration (2003 first crop，deep application).

Treatment	Transplanting ~ Active tillering stage kg/ha	Active tillering ~ Panicle initiation stage kg/ha	Panicle initiation ~ Heading stage kg/ha	Heading ~ Maturity kg/ha
N0	8.6(1.6)[x]	19.0(1.1)[x]	14.2(0.9)[y]	31.7(18.9)[y]
N0+35			17.9(0.4)	46.9(21.4)
N40	9.0(1.5)	32.5(6.6)	10.4(9.3)	49.5(20.3)
N40+35			36.5(15.6)	55.6(3.3)
N77	11.5(2.7)	46.1(14.3)	5.1(1.4)	41.9(36.8)
N77+35			35.8(11.4)	35.2(14.6)
N112	15.6(1.6)	65.9(16.0)	5.8(5.4)	25.5(35.7)
N112+35			18.6(9.7)	77.1(24.5)

[x]Means of 4 replications with(SD)
[y]Means of 2 replications with(SD)

Shoji *et al.*(1974)報告一般水稻吸收氮素之終了期約在最高分蘗期，因此除非再供給大量氮素，否則水稻體內氮素的增加，將受到相當的限制。而本試驗台農 67 號水稻在幼穗形成期以後仍有多量之氮素吸收，此應與其爲高產量品種有關。且種植時肥料深施及幼穗形成期增施穗(氮)肥則可以再進一步增加生育中期的氮素吸收。

氮素效率之比較

圖 2 顯示不施穗(氮)肥處理區之氮肥吸收效率以深施區較傳統撒施區高，惟隨著氮肥用量增加其差異縮小。施穗(氮)肥可提高氮肥吸收效率，深施區亦明顯較撒施區高。氮肥效率受品種及栽培方式的影響，莊(1993)指出較大顆粒尿素深施可顯著提昇肥料的回收率。謝及黃(1976)也指出氮肥深施及施用穗(氮)肥，可提升水稻的產量及氮吸收量。玉米種植時採行肥料深施及施穗(氮)肥也有相同的情形(王，1993)。

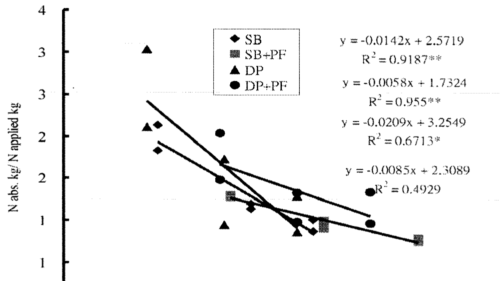

Fig.2. Relationship between nitrogen applied rate and fertilizer-N absorption efficiency under different fertilization methods for rice grown in the first cropping season of 2003.(SB：surface broadcast；SB+PE：surface broadcast + panicle fertilizer；DP：deep placement；DP+PF：deep placement + panicle fertilizer)

圖 3 則顯示氮素生產效率(NE)隨著氮素吸收量增加而降低，此與前人報告相符(Yoshida，1981；Tanaka *et al.*, 1984)，深施區水稻有較高氮素吸收量時，施穗(氮)肥區之氮素生產效率(每公斤氮素生產稻谷之效率)較無穗(氮)肥區高。撒施處理區施穗(氮)肥處理之 NE 雖也較高，但未有顯著差異。而玉米於雄穗抽初期施穗(氮)肥亦有提高氮素生產效率的效果(王，1993)。

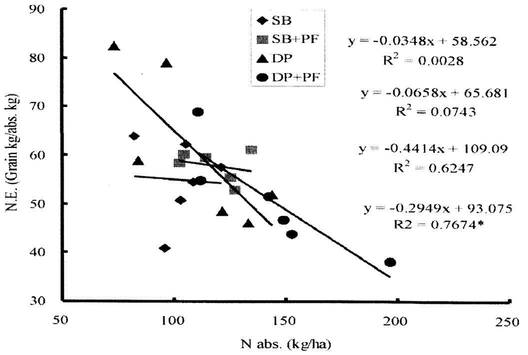

Fig.3. Relationship between nitrogen absorbed and nitrogen efficiency under different fertilization methods for rice grown in the first cropping season of 2003. (SB：surface broadcast；SB+PE：surface broadcast + panicle fertilizer；DP：deep placement；DP+PF：deep placement + panicle fertilizer)

幼穗形成期氮營養診斷技術

水稻自播種至收穫之任何生育時間均可吸收氮素，但就各生育期所吸收之氮素對稻谷之生產效率言，則以有效分蘗期及幼穗形成期所吸收者較大。故爲使稻谷增產，有效分蘗期之施肥(包括基肥)和穗肥(幼穗長達 1~2mm 時)之適當施用，甚爲重要。實際上二者配合之施肥方式已廣爲農家採用。惟穗肥之效果每與分蘗期施肥(包括基肥)之用量有關；如幼穗形成期以前，水稻已經吸收足量氮肥，則穗肥之效果往往不顯著，甚而導致減產。在此種情形下，穗肥之施用期應移後或其用量應減少。故爲期肥料之有效施用，穗肥施用前之植株氮營養診斷最爲重要。前人研究已指出幼穗形成期時全株氮素含量達 2.0％以上

時，施穗肥無增產效果(連，1972)。此結果並已作為水稻氮肥施用之準則(作物施肥手冊，1996)。惟此法需採取全株進行化學分析，不但植株樣本龐大，且處理甚費時。

以葉綠素計測定葉片之測值與葉片氮素含量、葉綠素含量及全株氮含量均有顯著正相關(王及王，1996；王等，2001；王等 2002)。故可應用於診斷植株之氮素營養狀態。本試驗測定並比較幼穗形成期水稻之全株氮含量，葉片氮含量及葉片葉綠素計測值之相關，結果顯示：水稻幼穗形成期葉片葉綠素計測值與葉片氮素含量及全株氮素含量均呈極顯著正相關，葉綠素計測值相同時，深施區之葉片氮素含量較撒施區高(圖 4 及圖 5)，而葉片氮素含量與全株氮素含量之間也呈極顯著正相關，深施區與傳統撒施區並無明顯差異(圖 6)。與去年之資料比較可知，全株氮素含量為 2.00%時，葉片氮素含量為 3.26％，去年則為 3.25％。撒施區因植株氮含量明顯較往年低，無法與往年之 2.97%比較。全株氮含量為 2.00％時葉片葉綠素計測值為 40.1，較去年 38.3(2002)略高。

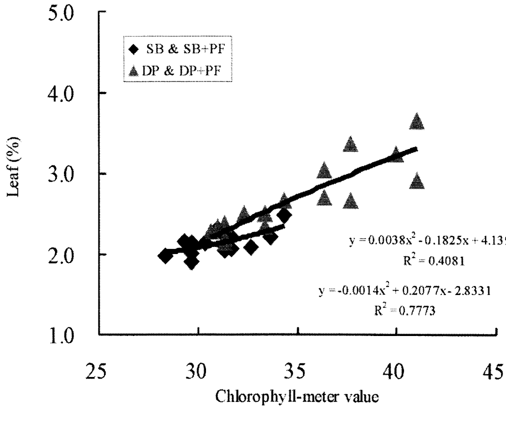

Fig.4. Relationship between chlorophyll-meter value and leaf N content at panicle initiation stage of rice grown in the first cropping season of 2003.(SB：surface broadcast；SB+PE：surface broadcast + panicle fertilizer ; DP : deep placement；DP+PF：deep placement + panicle fertilizer)

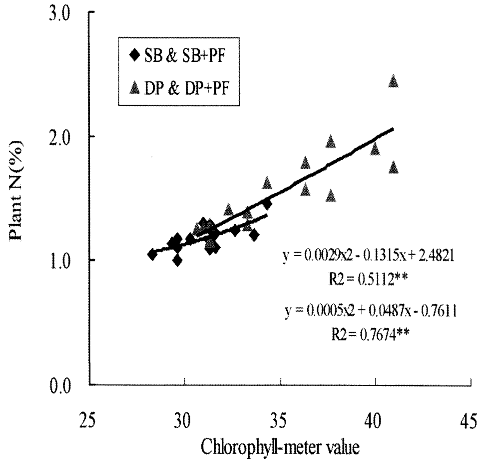

Fig.5. Relationship between chlorophyll-meter value and plant N content at panicle initiation stage of rice grown in the first cropping season of 2003.(SB：surface broadcast；SB+PE：surface broadcast + panicle fertilizer ; DP : deep placement；DP+PF：deep placement + panicle fertilizer)

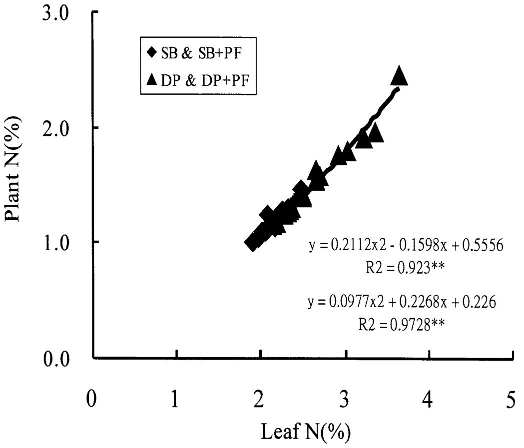

Fig.6. Relationship between leaf N content and plant N content at panicle initiation stage of rice grown in the first cropping season of 2003 first crop.(SB：surface broadcast；SB+PE：surface broadcast + panicle fertilizer ; DP : deep placement；DP+PF：deep placement + panicle fertilizer)

圖 7 及圖 8 顯示隨著幼穗形成期全株氮素的含量增加，幼穗形成期增施 35 公斤/公頃穗(氮)肥對水稻稻谷的增加量及增產率下降。施穗肥的增產率除了深施區之最高氮肥處理區爲減產 1 % 外，甚至高達 28 % 、33 % 、23 % 及 11 % (撒施區)(表 4)，及 47 % 、18 % 及 20 % (深施區)(表 5)。張及楊(1966)指出肥料分施在第一、二期作其產量均較慣行法爲佳，一期作增產原因爲每穗粒數及千粒重之增加。栽植密度亦能增產，其產量之提高乃得自單位面積總穗數之增加。本試驗穗(氮)肥的增產效果高於鄭(1967)報告之：施用穗肥之處理，不論一期或二期作均較不施穗肥之處理稻穀產量高，在前期施用 75 公斤/公頃氮肥之情況下，一期作增產量均在 10%以上，惟二期作之增產量較一期作高。其原因可能因本期作水稻幼穗形成期以後下雨日數明顯較往年少，僅爲 16.0 天，而過去 10 年的平均值則爲 23.2 天，天候狀況較佳，有利谷粒生產。另外因應深施區氮肥的流失量較撒施區少(表 10 及表 11)插秧時如已施用較高氮肥用量(N 112 公斤/公頃)，於幼穗形成期施穗(氮)肥，反而造成植株在生育後期吸收過量氮素，爲同化這些吸收之氮素將影響碳水化合物移至谷粒的量，不利谷粒生產。與前人之報告相符(王，2002；鍾等，1999)。由圖中之相關方程式計算可知，深施區水稻幼穗形成期全株氮素含量達 1.95 % (圖 7)及 1.86 % (圖 8)時，施穗(氮)肥無增產效果。連(1972)之報告指出穗肥之效果和幼穗形成期之植物體全氮含量具有顯著的負相關，第一期作時幼穗形成期之植物體全氮含量如低於 1.8-1.9%，則穗肥之效果顯著，反之則否。惟此基準似因環境而稍異，如台北試驗結果，較屏東略高，爲 2.0%左右。因此，本試驗之結果與前人之研究結果相接近。此外，由於幼穗形成期葉片葉綠素測值與全株氮含量呈極顯著正相關，故利用葉綠素計測值可供此時期現場診斷植株氮營養推薦穗(氮)肥用量之依據。

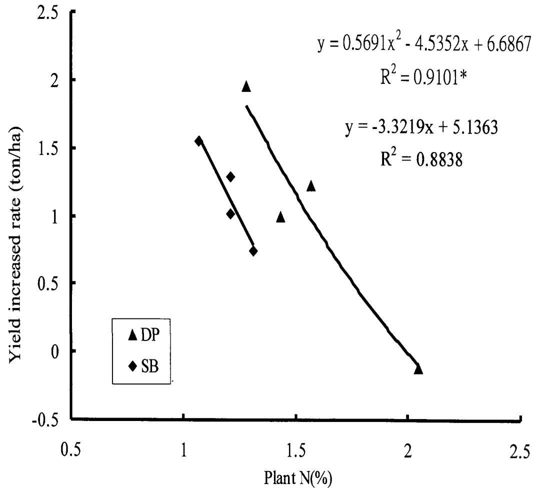

Fig.7. Difference in relationships between plant N content and yield increased rate caused by whether or not application of nitrogen fertilizer at panicle initiation stage of rice grown in the first cropping season of 2003.(SB : surface broadcast ; DP : deep placement)

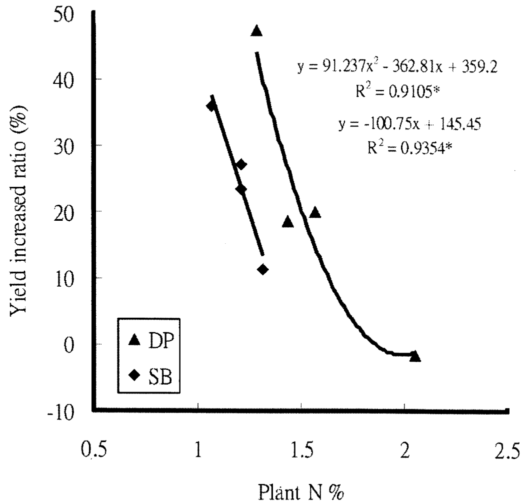

Fig.8. Difference in relationships between plant N content and yield increased ratio caused by whether or not application of nitrogen fertilizer at panicle initiation stage of rice grown in the first cropping season of 2003. (SB : surface broadcast ; DP : deep placement)

四、結語

深施區水稻之乾物產量、谷粒產量、全氮素吸收量及谷粒氮素量均較傳統撒施區高。幼穗形成期增施穗(氮)肥明顯增加水稻生育中後期氮素吸收量、乾物產量、氮素收穫指數及收穫指數，故明顯提高谷粒產量。惟因深施區水稻氮素吸收效率高，在較高氮肥用量區增加穗(氮)肥對全乾物產量及谷粒產量均有不利影響。

水稻幼穗形成期全株氮含量達 1.86~1.95 ％時，施穗(氮)肥無增產效果，此與前人之結果相近。幼穗形成期葉片葉綠素計測值與全株氮含量呈極顯著正相關，可供此時期現場診斷植株氮營養推薦穗(氮)肥用量之依據。

五、誌謝

本研究承蒙行政院農委會農業試驗所計畫經費(90 農科-4.1.1-農 C2(Z)，p1 農科-5-1.3-農 C2(Z) ，p2 農科-1.1.6-農-C1(Z))支持，特以誌謝。

六、引用文獻

王文華。1983。水田尿素深施對氮素移動、揮失、淋失及肥效之影響。國立中興大學碩士論文。

王鐘和。1993。轉作田玉米栽培技術及氮素營養管理。國立台灣大學農業化學研究所博士論文。

王鐘和、王銀波。1997。葉綠素計測值與不同生育期水稻及玉米葉片氮素含量、葉綠素含量及全株氮素含量之相關研究。國科會計劃年度報告(未發表)。

王鐘和、林毓雯、艾慶平、丘麗蓉。2001。不同氮素營養對水稻生育之影響研究。農試所九十年度計劃研究報告(未發表)。

王鐘和、林毓雯、丘麗蓉、陳琦玲、劉滄棽。2002。不同氮素營養對水稻生育之影響及穗肥診斷基準研究。農試所九十一年度計劃報告(未發表)。

王鐘和、林毓雯、黃維廷、江志峰。2002。水稻合理施肥技術。p.11-24。作物合理化施肥技術研討會專刊。中華永續農業協會、農業試驗所編印。臺中縣。

王鐘和、艾慶平、丘麗蓉、林毓雯、鍾仁賜。2002。施用不同有機資材對玉米、水稻輪作物生產之影響。p.181-218。農業土壤生態品質及生產力研討會【水旱田輪作系統及有機質應用對土壤品質及生產力之影響】論文集。中興大學土壤環境科學系、中華土壤肥料學會編印。臺中市。

王守林、彭根元、蘇寶林，1986。應用 15N 示蹤技術對北京春稻氮素效應的研究。北京農業大學學報 15(4):391-396。

洪崑煌、劉天斌。1979。不同時期所施肥料氮利用率與稻穀收量之關係。台灣大學農學院研究報告，19(1)：1-18。

連　深。1972。水稻之穗肥效應及診斷研究。農業研究 21(1)71-77。

連　深。1982。水稻之植物營養研究發展。p.45-47。台灣省土壤肥料學會三十周年紀念特刊。

連　深、王鐘和。1983。長期連用矽酸爐渣對水稻收量和土壤化學性質之影響。中華農業研究 32(2)：185~199。

連　深。1996。作物施肥手冊-貳、施肥原則及參、水稻。p.10~31。農委會及農林廳編印。

連　深、鄭榮賢、蘇春濤。1977。省產裏硫尿素及硫酸銨簡化施肥法在不同水田之肥效，台灣省農業季刊 13(2)：135-148。

莊作權。1993。台灣水田土壤在施用尿素及土壤改良劑下對水稻產量及養分含量與土壤肥力之影響。中華農學會報新 159 期: 61-74。

張萬來、楊謙遜。1966。水稻肥料分施與栽植密度對產量,產量構成因子及其他主要農藝性狀之效果(三)。中華農業研究 15(1):1-7。

陳建山、黃定鼎、劉大江,1981。機插水稻之生育與生理研究。I.氮素、葉綠素及非構造性碳水化合物之濃度變化。中華農業研究 30(2):89-98。

詹元佑。1977。應用 ^{15}N 追蹤劑研究土壤礦化氮對水稻氮素吸收之影響。台灣糖業研究所研究彙報,76:13-18。

鄒運豐、林順台。1980a。水稻氮肥機械深施試驗。p.35-42。農林廳 68 年土壤肥料試驗報告。

鄒運豐、林順台。1980b。水稻三要素機械化深層施肥試驗。農林廳 68 年土壤肥料試驗報告(抽印本)。

謝慶芳、黃山內。1976。水稻氮素肥料效率改進試驗。P.22-260 台灣省政府農林廳土壤肥料試驗報告 22-26。

鄭榮賢、羅瑞生、王明茂。1982。巨粒尿素深施觀察。農林廳 71 年度土壤肥料試驗示範報告(抽印本)。

戴登燦,1990。不同時期所施氮肥對水稻氮素吸收與分配動態之影響。國立中興大學農藝研究所碩士論文。66pp.。

鍾仁賜、王鐘和、王俊文、王銀波。1999。不同施肥下水稻之生長及氮素吸收與分佈。土壤與環境 2(1):65-760。

深山政治。1990。水稻の最適窪素保有量と土壤窪素吸收バターンから見ん施肥。水田土壤窪素の無機化と施肥(日本土壤肥料學會編)pp.63-97。

石塚喜明、金雄桂。1967。トウモロコシの營養生理的研究(第一報)生育に伴う同化產物の生成と養分吸收に關する研究。日本土肥誌 38:11:407-412。

Calvert, D.V. and J.T.Pesek. 1964. Corn recovers N from deep in soils.Crops Soils 12 : 21 Cited from Olson R.A(1979)Isotope studies on soil and fertilizer nitrogen.p.25 in"Isotopes and Radiation in Research on Soil-Plant Realationships".IAEA,Vienna.

Chabalier,P.F. and J.Pichot. 1979. Utilization of fertilizer nitrogen by maize crop in the lvory Coast. p.33 *In*: "Isotopes and Radiation in Research on Soil-Plant Relationships".IAEA,Vienna.

Chau, N.M. and P.S. Deshmukh. 1991. Nitrogen induced physiological changes in lowland rice. Oryza28:205-209.

Dingkuhn, M., S.K. De Datta, C. Javellana, R. Pamplona and H.F. Schnier. 1992a. Effect of late-season N fertilization on photosynthesis and yield of transplanted and direct-seeded tropical flooded rice. I. Growth Dynamics. Field Crops Res. 28:223-234.

Dingkuhn, M., S.K. De Datta, R. Pamplona, C. Javellana and H.F. Schnier. 1992b. Effect of late-season N fertilization on photosynthesis and yield of transplanted and direct-seeded tropical flooded rice. II. A canopy stratification study. Field Crops Research 28:235-249.

Gass,W.B., G.A.Peterson, R.D.Hauck and R.A.Olson. 1971. Recovery of residual nitrogen by corn(*Zea mays* L.)from various soil depths as measured by N tracer techniques. Soil Sci. Soc. Am. Proc.35 :

290-294.

Genshichi, W. and P. C. Cruz. 1990. Nitrogen response of rice varieties with reference to nitrogen absorption at early growth stage. Jpn. J. Crop Sci. 59：540-547.

Hayami, A. 1975. Cropping sequences and their effect on soil fertility, FFTC Tech. Bull. No. 23.

Ku,S.B., M.R.Schmitt and G.E.Edwards. 1979. Quantitative determination of RuBP carboxylase-oxygenase protein in leaves of several C3 and C4 plants.J. Exp.Bot.30：89-98.

Mae, T. and K. Ohira. 1981. The remobilization of nitrogen related to leaf growth and senescence in rice plants(*Oryza Sativa* L.). Plant & Cell Physiol. 22:1067-1074.

Norman, R. J., D. Guindo, B. R. Wells and C. E. Wilson, Jr. 1992. Seasonal accumulation and partitioning of nitrogen-15 in rice. Soil Sci. Soc. Am. J. 56：1521-1527.

Su, N.R. 1975. Fertilizers applications to rice in Taiwan, ASPAC FFTC Extension Bull. No.60.

Tanaka, A., J. Yamaguchi, S. Miura and H. Tamaru. 1984. Comparison of fertilizer nitrogen efficiency among field crops. Soil Sci. Plant Nutr. 30(2)：199-208.

Tripathy, B.N. and R.M. Upadhyay, 1989. Effcet of biocide and fertilizer application on the nutritional status of rice. Oryza 26:43-47.

Wallace, D. H. and R. W. Zobel. 1982. The bilolgy of crop yield. In Hand-book of agricultural productivity. Volume I：Plant productivity (M. Rechcigl, Jr. ed.). CRC press, Florida.

Yoshida, S. and V. Coronel. 1976. Nitrogen nutrition, leaf resistance and leaf photosynthetic rate of the rice plant. Japan Soc. Soil Sci. Plant Nutr. 22:207-211.

Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.

Response of Rice Yield to Deep Placement of Fertilizer and Nitrogen Top-dressing During Panicle Initiation Stage and Its Diagnosis

Chong-Ho Wang*, Yu-Wen Lin, Li-Rong Chiu, Chi-Ling Chen and Tsang-Sen Liu
Division of Agricultural Chemistry, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC
E-mail: chwang@wafeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

The response of rice yield to deep placement of fertilizer and nitrogen top-dressing during panicle initiation stage has been investigated, and a study to develop a simple scheme for diagnosing the demand of nitrogen top-dressing during panicle initiation stage also has been evaluated. The results are as follows. Deep placement of nitrogen fertilizer promoted nitrogen uptake, gram nitrogen and nitrogen harvest index, and resulted in a higher dry matter production, harvest index and consequently a higher grain yield of rice plant. Top-dressing of nitrogen at panicle initiation stage had favorable effects on the nitrogen uptake, dry matter production, nitrogen harvest index, harvest index and grain yield of rice plant. Nitrogen top-dressing at panicle initiation stage increased the efficiency of fertilizer-N absorption. The response of rice plants to panicle fertilizer were observed and were found well correlated with the nitrogen content in the plants during panicle initiation stage, i.e. the lower the nitrogen content in the plants the higher the response of the plants to the top-dressing. The critical nitrogen contents for obtaining positive yield response as observed were about 1.86~1.95 %. Since the chlorophyll-meter value had significantly positive relationships with both leaf N % and plant N % of rice plant at panicle initiation stage, chlorophyll meter may serve as a suitable tool for determining the necessity of top-dressing panicle fertilizer.

Key words：Rice, Fertilizer deep placement, Panicle fertilizer.